SNI 6169:2018

Standar Nasional Indonesia

Metode estimasi potensi energi panas bumi

ICS 07.060

Badan Standardisasi Nasional

Daftar isi

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 6169:2018 dengan judul *Metode estimasi potensi energi panas bumi* merupakan revisi SNI 13-6169-1999, *Metode estimasi potensi energi panas bumi*. Bagian yang direvisi meliputi metode estimasi dan parameter penghitungan. Standar ini direvisi karena menyesuaikan dengan kondisi saat ini serta untuk menyeragamkan metode dalam penghitungan estimasi potensi energi panas bumi di Indonesia.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis SNI 27-05, Panas Bumi dan telah dibahas dalam rapat konsensus lingkup Komite Teknis pada 2 Oktober 2017 di Jakarta yang dihadiri oleh wakil-wakil dari pemerintah, produsen, konsumen, akademisi dan institusi terkait lainnya. SNI ini juga telah melalui konsensus nasional yaitu jajak pendapat pada tanggal 9 Oktober 2017 sampai dengan 7 Desember 2017. Penulisan dalam standar ini disesuaikan dengan ketentuan yang ada dalam Peraturan Kepala BSN Nomor 4 Tahun 2016 Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Metode estimasi potensi energi panas bumi

1 Ruang lingkup

Standar ini menentukan formula dan prosedur dari masing-masing metode estimasi potensi energi panas bumi.

2 Acuan normatif

Dokumen acuan berikut sangat diperlukan untuk penerapan dokumen ini. Dokumen untuk acuan bertanggal hanya edisi yang disebutkan yang berlaku. Dokumen untuk acuan tidak bertanggal, berlaku edisi terakhir dari dokumen acuan tersebut (termasuk seluruh perubahan atau amandemennya).

SNI 6009, *Klasifikasi sumber daya dan cadangan energi panas bumi Indonesia*

SNI 6482, *Parameter dalam estimasi potensi energi panas bumi*

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan dalam dokumen ini, istilah dan definisi berikut ini berlaku.

3.1
cadangan mungkin (*possible reserve*)
kelas cadangan yang potensi energinya dihitung berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, dan/atau sumur landaian suhu sehingga dapat menggambarkan konseptual model panas bumi dan mengestimasikan dimensi serta karakteristik fluida dan batuan reservoir

3.2
cadangan panas bumi
merupakan bagian dari sumber daya yang terdiri dari cadangan mungkin, cadangan terduga, dan cadangan terbukti yang masing-masing potensi dan keterdapatannya ditentukan dengan parameter ilmu kebumian rinci dan dibuktikan oleh data sumur bor yang memungkinkan diekstraksi sebagai sumber energi di masa kini

3.3
cadangan terbukti (*proven reserve*)
kelas cadangan yang potensi energinya dihitung berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, dan/atau sumur landaian suhu serta minimal 3 (tiga) sumur eksplorasi yang minimal 1 (satu) sumur berhasil mengalirkan fluida sehingga dapat secara detil memvalidasi model panas bumi termasuk dimensi serta karakteristik fluida dan batuan reservoir

3.4
cadangan terduga (*probable reserve*)
kelas cadangan yang potensi energinya dihitung berdasarkan hasil penyelidikan geologi, geokimia, geofisika dan/atau sumur landaian suhu serta minimal 1 (satu) sumur eksplorasi sehingga dapat membuktikan konseptual model panas bumi dan mengestimasikan dimensi serta karakteristik fluida dan batuan reservoir

3.5
faktor konversi listrik
besaran yang dibutuhkan untuk mengubah satuan daya panas (MWth) menjadi satuan daya listrik (MWe)

CATATAN Megawatt Electric (MWe) adalah satuan daya listrik yang dikonversikan dari satuan daya termal, Megawatt Thermal (MWth) adalah satuan daya secara termal yang terkandung di dalam reservoir

3.6
metode estimasi
cara untuk memperkirakan besarnya potensi energi panas bumi setara tenaga listrik di Indonesia berdasarkan hasil-hasil penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, dan data sumur

3.7
potensi energi panas bumi
besarnya energi yang tersimpan pada suatu prospek lapangan panas bumi setelah diestimasi dengan ilmu-ilmu kebumian dan/atau pengujian sumur

3.8
recovery factor
bilangan yang menyatakan perbandingan antara energi yang dapat dimanfaatkan secara maksimal dengan energi yang terkandung dalam reservoir. Faktor ini dapat berubah sesuai dengan tingkat data/klasifikasi sumber daya maupun cadangan yang tersedia

3.9
reservoir panas bumi
wadah berpori di bawah permukaan yang bersifat sarang dan berdaya lulus terhadap fluida, dapat menyimpan fluida panas serta mempunyai temperatur dan tekanan dari sistem panas bumi

3.10
sumber daya hipotetis
kelas sumber daya yang potensi energinya diperkirakan dengan pengamatan kondisi geologi, pengukuran geokimia, dan geofisika yang paling sedikit dapat menggambarkan sebaran reservoir secara lateral dan temperatur reservoirnya diestimasikan

3.11
sumber daya panas bumi
potensi panas bumi terdiri dari spekulatif, hipotetis, dan cadangan yang jumlah dan keterdapatannya ditentukan dengan parameter ilmu kebumian yang memungkinkan dapat diekstraksi sebagai sumber energi

3.12
sumber daya spekulatif
kelas sumber daya yang potensi energinya diperkirakan berdasar pengamatan kondisi geologi tinjau dan temperatur reservoir yang diestimasi

3.13
temperatur akhir (*cut off*)
temperatur reservoir yang ditetapkan berdasarkan aspek teknologi dan ekonomi sebagai batas akhir pemanfaatan energi panas bumi apabila energi tersebut digunakan untuk pembangkit listrik

3.14
temperatur awal (*initial*)
temperatur reservoir yang diperoleh dari hasil perhitungan geotermometer dan/atau pengukuran sumur

4 Metode estimasi potensi energi panas bumi

Metode yang digunakan untuk mengestimasi potensi panas bumi terdiri dari:

1. Perbandingan
2. Volumetrik
3. Simulasi reservoir

Metode estimasi potensi sumber daya panas bumi ini digunakan untuk penghitungan potensi daya pada setiap kategori sumber daya dan cadangan sesuai dengan klasifikasi dalam SNI 6009.

Penerapan metode estimasi seluruhnya menggunakan parameter sesuai dengan SNI 6482.

4.1 Metode perbandingan

Metode perbandingan digunakan untuk estimasi potensi sumber daya spekulatif dengan cara statistik dan menyetarakan besar potensi energi suatu lapangan panas bumi baru yang belum diketahui potensinya dengan lapangan lain yang telah diketahui potensinya dan memiliki kemiripan kondisi geologinya.

4.1.1 Prosedur metode perbandingan

Prosedur yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Menentukan perkiraan temperatur reservoir
b. Menentukan luas area
c. Menghitung estimasi potensi dengan asumsi kerapatan daya terhadap luas area

Besarnya sumber daya energi spekulatif suatu daerah prospek panas bumi dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = A \times PD$$

Keterangan :

P adalah nilai numerik potensi daya listrik, dinyatakan dalam Megawatt Electric (MW_e)
A adalah nilai numerik luas daerah panas bumi prospek, dinyatakan dalam kilometer persegi (km^2)
PD adalah nilai numerik rapat daya (*power density*), dinyatakan dalam Megawatt Electric per kilometer persegi (MWe/km^2)

4.1.2 Penerapan metode perbandingan

Metode ini digunakan dengan persyaratan bahwa penyelidikan kebumian yang dilakukan baru sampai pada tahap penyelidikan penyebaran manifestasi permukaan dan pelamparan struktur geologinya secara regional. Pada tahap ini belum ada data yang dapat dipergunakan untuk mengestimasi besarnya sumber daya dengan menggunakan metode volumetrik dan simulasi reservoir. Oleh karena itu potensi energi sumber daya panas bumi diperkirakan berdasarkan potensi lapangan lain yang memiliki kemiripan kondisi geologi.

Metode ini digunakan pada kelas sumber daya spekulatif.

4.2 Metode volumetrik

Metode volumetrik digunakan untuk estimasi potensi sumber daya hipotetis, cadangan mungkin, dan cadangan terduga.

Dalam metode volumetrik, reservoir panas bumi dianggap sebagai satu bentuk geometri volume yang parameternya homogen, sehingga volumenya dapat dihitung dengan mengalikan luas area dan ketebalannya. Untuk menghitung besarnya potensi energi sumber daya dan cadangan maka volume dikalikan dengan kandungan panas di dalam batuan dan fluida reservoir.

Apabila parameter yang diperoleh dalam metode volumetrik tidak homogen, maka penghitungan sumber daya atau cadangan menggunakan metode probabilitas (Monte Carlo).

Rumus dasar kandungan panas yang terdapat di dalam reservoir adalah:

$$H_e = A \times h \times [(1-\phi)\,\rho_r\, c_r\, T + \phi\,(\rho_L\, U_L\, S_L + \rho_v\, U_v\, S_v)]$$

Keterangan:

H_e adalah nilai numerik kandungan energi panas, dinyatakan dalam kiloJoule (kJ)
A adalah nilai numerik luas daerah panas bumi prospek, dinyatakan dalam kilometer persegi (km^2)
h adalah nilai numerik tebal reservoir, dinyatakan dalam meter (m)
T adalah nilai numerik temperatur reservoir, dinyatakan dalam derajat Celsius (°C)
S_L adalah saturasi air (fraksi, %)
S_v adalah saturasi uap (fraksi, %)
U_L adalah nilai numerik energi dalam air, dinyatakan dalam kiloJoule per kilogram (kJ/kg)
U_v adalah nilai numerik energi dalam uap, dinyatakan dalam kiloJoule per kilogram (kJ/kg)
Φ adalah porositas batuan reservoir (fraksi, %)
c_r adalah nilai numerik kapasitas panas batuan, dinyatakan dalam kiloJoule per kilogram derajat Celsius (kJ/kg °C)
ρ_r adalah nilai numerik densitas batuan, dinyatakan dalam kilogram per meter kubik (kg/m^3)
ρ_L adalah nilai numerik densitas air, dinyatakan dalam kilogram per meter kubik (kg/m^3)
ρ_v adalah nilai numerik densitas uap, dinyatakan dalam kilogram per meter kubik (kg/m^3)

4.2.1 Prosedur penghitungan

Batasan dalam prosedur penghitungan menggunakan metode volumetrik adalah sebagai berikut:

1. Model tentatif atau model konseptual
2. Umur proyek dinyatakan sebagai nilai numerik lamanya waktu (umur) pembangkitan listrik (30 tahun)
3. Kedalaman batas bawah reservoir 3.000 m
4. Temperatur akhir untuk:
   - Temperatur rendah adalah 90 °C
   - Temperatur sedang adalah 120 °C
   - Temperatur tinggi adalah 180 °C

4.2.1.1 Prosedur penghitungan untuk parameter homogen

Estimasi potensi energi panas bumi metode volumetrik untuk parameter homogen dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan parameter penghitungan yang meliputi luas area, ketebalan, temperatur reservoir, temperatur akhir, porositas batuan, saturasi air dan uap, densitas batuan, daya hantar panas batuan, densitas uap dan air, dan energi dalam uap dan air.
2. Memasukkan parameter tersebut dalam rumus penghitungan sumber daya dan cadangan.

3. Menghitung kandungan energi di dalam reservoir pada temperatur awal (T_i):

   $$H_{ei} = A \times h \times [(1-\phi)\,\rho_r\, c_r\, T_i + \phi\,(\rho_L\, U_L\, S_L + \rho_v\, U_v\, S_v)]$$

4. Menghitung kandungan energi di dalam reservoir pada temperatur akhir (T_f):

   $$H_{ef} = A \times h \times [(1-\phi)\,\rho_r\, c_r\, T_f + \phi\,(\rho_L\, U_L\, S_L + \rho_v\, U_v\, S_v)]$$

5. Menghitung maksimal energi yang dapat dimanfaatkan (sumber daya dan cadangan):

   $$H_{th} = H_{ei} - H_{ef}$$

6. Menghitung energi panas yang dapat diambil (sebagai sumber daya dan cadangan). Apabila sumber daya dan cadangan dinyatakan dalam satuan kJ, maka besarnya ditentukan sebagai berikut:

   $$H_{de} = R_f \times H_{th}$$

7. Apabila sumber daya dan cadangan dinyatakan dalam satuan MWth, maka besarnya ditentukan sebagai berikut:

   $$H_{re} = \frac{H_{de}}{t \times 365 \times 24 \times 3.600 \times 1.000}$$

8. Menghitung besarnya potensi listrik panas bumi (dalam satuan MWe) selama t tahun adalah:

   $$H_{el} = H_{re} \times \eta$$

Keterangan:

T_i adalah nilai numerik temperatur awal, dinyatakan dalam derajat Celsius (°C)
T_f adalah nilai numerik temperatur akhir, dinyatakan dalam derajat Celsius (°C)
T_s adalah nilai numerik temperatur permukaan, dinyatakan dalam derajat Celsius (°C)
H_{ei} adalah nilai numerik kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan awal, dinyatakan dalam kiloJoule (kJ)
H_{ef} adalah nilai numerik kandungan energi dalam batuan dan fluida pada keadaan akhir, dinyatakan dalam kiloJoule (kJ)
H_{th} adalah nilai numerik energi panas bumi maksimal yang dapat dimanfaatkan, dinyatakan dalam kiloJoule (kJ)
H_{de} adalah nilai numerik energi panas bumi maksimal yang dapat diambil ke permukaan (cadangan panas bumi), dinyatakan dalam kiloJoule (kJ)
H_{re} adalah nilai numerik energi panas bumi maksimal yang dapat diambil ke permukaan selama periode tertentu (cadangan panas bumi), dinyatakan dalam megawatt thermal (MWth)
H_{el} adalah nilai numerik potensi listrik panas bumi, dinyatakan dalam megawatt electric (MWe)
R_f adalah *recovery factor* dinyatakan dalam persen (%)
t adalah nilai numerik lama waktu (umur) pembangkitan listrik, dinyatakan dalam tahun
η adalah faktor konversi listrik, dinyatakan dalam persen (%)

4.2.1.2 Prosedur penghitungan untuk parameter tidak homogen

Estimasi potensi energi panas bumi metode volumetrik untuk parameter tidak homogen menggunakan statistik probabilitas (Monte Carlo) dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memperkirakan distribusi masing-masing parameter yang tidak homogen
2. Melakukan bilangan acak dan menghitung berapa besarnya nilai dari setiap parameter
3. Menghitung besarnya parameter yang ingin diketahui
4. Mengulangi langkah 2 dan 3 sampai mendapatkan hasil yang konsisten minimal 1.000 kali iterasi
5. Menghitung besarnya nilai rata-rata (Monte Carlo P50) hasil akhir sumber daya dan cadangan:

a. Apabila sumber daya dan cadangan dinyatakan dalam satuan kJ, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut:

$$H_{de} = R_f \times H_{th}$$

b. Apabila sumber daya dan cadangan dinyatakan dalam satuan MWth, maka besarnya cadangan ditentukan sebagai berikut:

$$H_{re} = \frac{H_{de}}{t \times 365 \times 24 \times 3.600 \times 1.000}$$

6. Menghitung besarnya potensi listrik panas bumi (dalam satuan MWe) selama t tahun adalah:

$$H_{el} = H_{re} \times \eta$$

4.2.2 Penerapan metode volumetrik

Metode volumetrik digunakan pada kelas sumber daya hipotetis, cadangan mungkin, dan cadangan terduga.

4.3 Metode simulasi reservoir

Metode ini menggunakan simulasi numerik yang dilakukan dengan membagi sistem reservoir menjadi sejumlah blok dan *grid* yang satu sama lain saling berhubungan. Pembagian blok dan *grid* dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya: jenis dan karakteristik batuan, struktur batuan dan lokasi sumur. Dengan cara ini maka keanekaragaman permeabilitas, porositas, kandungan air, dan kandungan uap di dalam reservoir serta sifat fluidanya, dapat dihitung secara lateral maupun secara vertikal.

4.3.1 Prosedur penghitungan

1. Melakukan pengkajian keseluruhan data yang mencakup data kebumian (geologi, geofisika, geokimia), fluida reservoir dan semua data sumur lainnya serta hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya
2. Membuat dan mengkaji model konseptual yang ada dan melakukan revisi (apabila diperlukan) dengan mengikut sertakan hasil interpretasi data kebumian serta data sumur baru
3. Membuat model geologi
4. Membuat *reservoir numerical model*:
   a. Membagi reservoir dalam sejumlah blok dan *grid*
   b. Memasukkan data parameter batuan dan fluida reservoir (diantaranya permeabilitas, porositas, panas spesifik, konduktivitas batuan, dll) ke dalam masing-masing blok
   c. Melakukan simulasi numerik untuk memperoleh model yang memberikan gambaran keadaan awal reservoir sesuai dengan data sumur dan model geologi
   d. Melakukan simulasi numerik untuk memperoleh model yang memberikan gambaran kinerja semua sumur dan reservoir pada saat diproduksi
   e. Melakukan prakiraan kinerja semua sumur dan reservoir dengan berbagai skenario produksi dan reinjeksi (selama jangka waktu 30 tahun)

Batasan dalam penghitungan menggunakan metode simulasi reservoir adalah sebagai berikut:

1. Ekstrapolasi dapat dilakukan dengan jarak horizontal maksimal 500 m dari sumur
2. Untuk memvalidasi cadangan dapat digunakan jumlah sumur produksi
3. Menentukan batas bawah reservoir berdasarkan sumur produksi terdalam
4. Semua parameter dalam penghitungan metode simulasi reservoir berdasarkan data hasil uji sumur dan *interference test*

4.3.2 Penerapan metode simulasi reservoir

Metode simulasi reservoir digunakan pada kelas cadangan terbukti.

Bibliografi

[1] *Castanier, L.M., Sanyal, S.K., and Brigham, M.E., 1980. A Practical Analytical Model For Geothermal Reservoir Simulation, 50th Ann. Calif. Reg. Meet. SPE-AIME, Paper SPE-8887*

[2] *Gomaa E. E., 1990. Correlation For Estimating Geothermal Reserves of Vapor Dominated Fractured Reservoirs, Proc. of 19th Annual Convention of Indonesian Petroleum Association, Jakarta, Oktober 1990, hal . 427 – 456*

[3] *Hochstein, M.P., 1992. Geothermal Reservoir Engineering, Short Course, New Zealand Geothermal Institute*

[4] *O'Sullivan, M.J., 1987. Geothermal Reservoir Engineering, a Manual for Geothermal*

[5] *Pruess, K., 1983. Development of the general purpose simulator MULKOM, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley Laboratory, Report LBL-15500*

[6] *Reservoir Engineering Course at the Geothermal Institute – University of Auckland*

[7] *Seminar on Geothermal Reservoir Engineering, 1989. New Zealand Geothermal Institute, The New Zealand Ministry of External Relations and Trade, Development Assistance for Indonesia*

[8] *Sudarman, Sayogi. 2017. Geothermal Power Density Formula. IIGCE 5. Jakarta - Indonesia*

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komite Teknis perumus SNI

Komite Teknis 27-05, *Panas Bumi*

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis perumus SNI

Ketua	:	Sayogi Sudarman
Wakil Ketua	:	Eddy Rivai
Sekretaris	:	Andi Susmanto
Anggota	:	1. Prihadi Sumintadireja
		2. Agus Aromaharmuzi Zuhro
		3. FX. Yudi Indrinanto
		4. Janes Simanjuntak
		5. Hendra Yu Tonsa Tondang
		6. Sudarwo
		7. Arief Pramono Sunu
		8. Elis Heviati
		9. Suryadarma
		10. Miman Arif

[3] Konseptor rancangan SNI

1. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, dan
2. Direktorat Panas Bumi
   Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis perumus SNI

Direktorat Panas Bumi, Ditjen Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)